# A beton kúszása és ernyedése

A kúszás és ernyedés reológiai fogalmak. A **reológia** görög eredetű szó, és ebben az értelmezésben az anyagoknak az idő folyamán lejátszódó változásait vizsgáló műszaki tudományág megnevezése.

A **kúszás** állandó hőmérsékleten, a tartós (időben változatlan) terhelőerő hatására fellépő, időben változó alakváltozás, amely kezdetben gyorsabban, később lassabban nő, míg évek múlva aszimptotához tart.

A kúszás ($\varepsilon_{kúszás}$) a terhelés okozta pillanatnyi alakváltozással ($\varepsilon_0$) és a zsugorodással ($\varepsilon_{zs}$) együtt a **tartós alakváltozást** ($\varepsilon_t$) teszi ki:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_0 + \varepsilon_{zs} + \varepsilon_{kúszás} \quad \text{és} \quad \varepsilon_{kúszás} = \varepsilon_t - \varepsilon_0 - \varepsilon_{zs}$$

A **beton lassú alakváltozása** ($\varepsilon_{lassú}$) a beton *zsugorodásának* és *kúszásának* együttes jelensége (*dr. Palotás László* professzor terminológiája):

$$\varepsilon_{lassú} = \varepsilon_{zs} + \varepsilon_{kúszás}$$

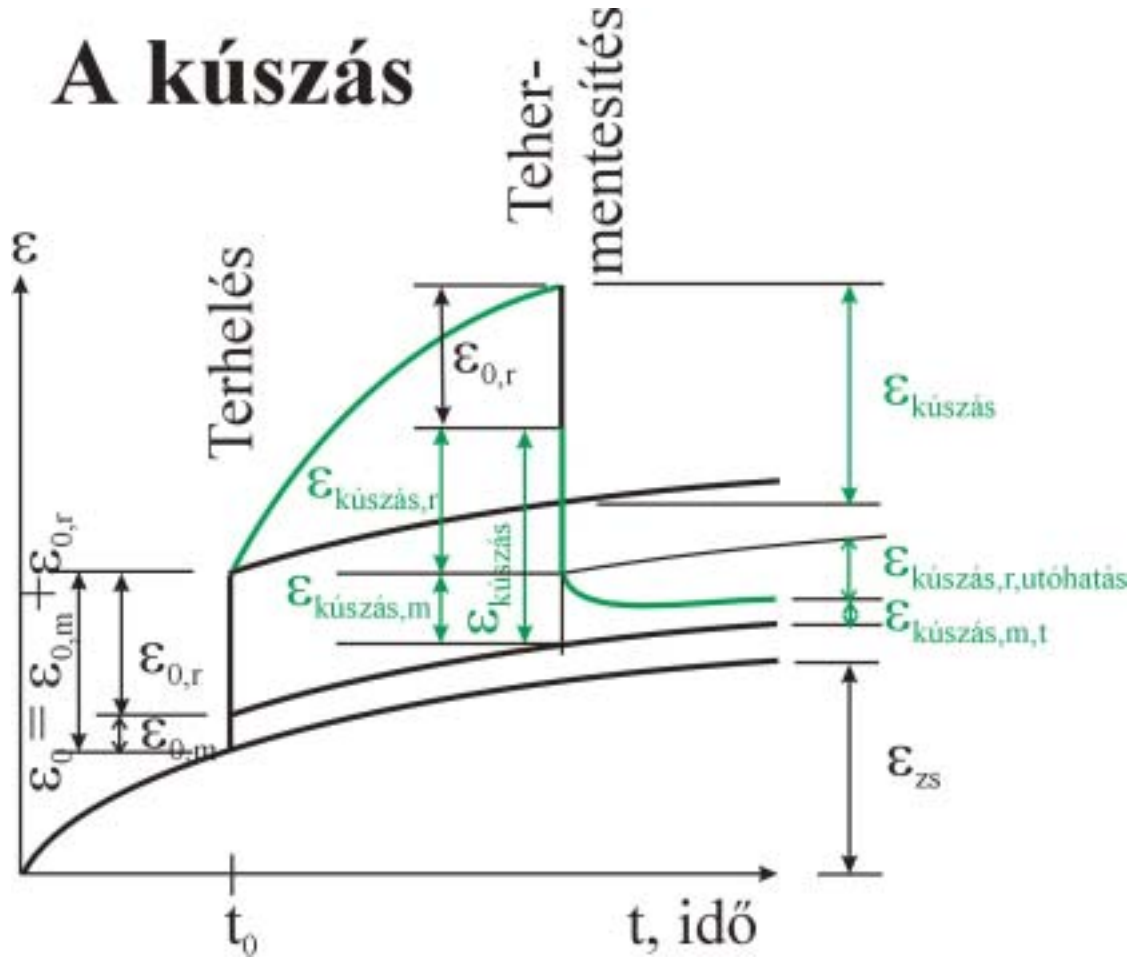
Meg kell jegyezni, hogy *dr. Balázs György* prof. emeritus a lassú alakváltozás kifejezést a kúszás szinonimájaként használja.

A következő ábrán a kúszás folyamata látható az idő függvényében. Ha a megterhelt betont bizonyos idő elteltével tehermentesítjük, akkor az nem nyeri vissza eredeti alakját, mert a tartós alakváltozás ($\varepsilon_t$) egy része maradó alakváltozás ($\varepsilon_{t,m}$), amely a zsugorodásból ($\varepsilon_{zs}$), a terhelés okozta pillanatnyi alakváltozás ($\varepsilon_0$) maradó részéből ($\varepsilon_{0,m}$) és a kúszás maradó alakváltozásából ($\varepsilon_{kúszás,m}$) tevődik össze:

$$\varepsilon_{t,m} = \varepsilon_{zs} + \varepsilon_{0,m} + \varepsilon_{kúszás,m}$$

Tehermentesítés után, az idő folyamán a kúszás maradó alakváltozásának egy része rugalmasan visszaalakul, - ezt a **kúszás rugalmas utóhatásának** nevezik ($\varepsilon_{kúszás,r,utóhatás}$) - ezért a tartós alakváltozás maradó részének végértéke:

$$\varepsilon_{t,m,\infty} = \varepsilon_{zs} + \varepsilon_{0,m} + \varepsilon_{kúszás,m} - \varepsilon_{kúszás,r,utóhatás}$$

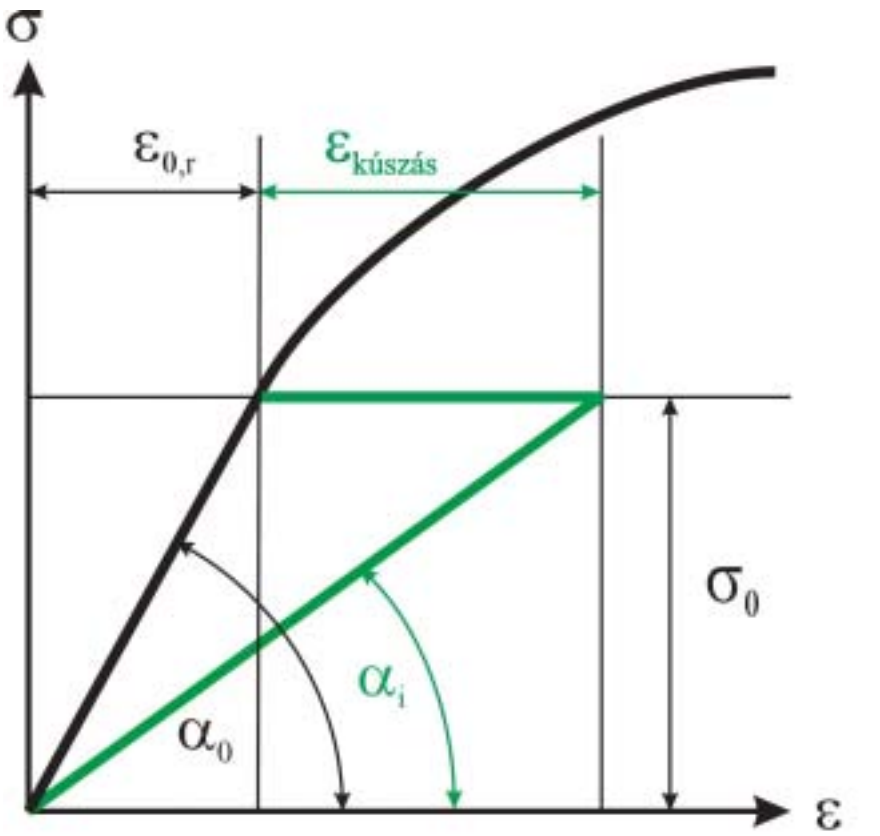



A beton kúszását a méretezés során úgy vesszük figyelembe, hogy tartós terhelés esetén a kezdeti rugalmassági modulus ($E_0$) helyett az „ideális” rugalmassági modulussal ($E_i$) számolunk:

$$E_i = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_{0,r} + \varepsilon_{kúszás}} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_{0,r}} * \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon_{kúszás}}{\varepsilon_{0,r}}} = E_0 * \frac{1}{1+\varphi}$$

ahol:

$\varphi = \varepsilon_{kúszás}/\varepsilon_{0,r}$ **a kúszási tényező**




$$\sigma_0 = E_0 * \varepsilon_{0,r} = E_i * (\varepsilon_{0,r} + \varepsilon_{kúszás})$$

A kúszási tényező időbeli változását a következő összefüggés adja meg (MSZ 15022-1:1986):

$$\varphi_t = \varphi_\infty \left[ 1 - e^{-(t/w)^z} \right]$$

ahol:

$\varphi_\infty$ = a kúszás végértéke

t = a teher felléptétől számított idő napokban

w = $1{,}8 * v_{ef} * z$

$v_{ef}$ = a szerkezeti elem „hatásos vastagsága” mm-ben, amely általában a keresztmetszet kétszeres területének és párologni képes kerületének a hányadosa, kétoldalt párolgó szerkezet esetén annak vastagsága

z = $\sqrt{v_{ef} / 1000}$

A közönséges (normál) beton kúszási tényezőjének tervezési végértékét az Eurocode-2 (BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke: Oktatási segédlet, 1997. február) 3.3. táblázata a szerkezeti elem „hatásos vastagságától” ($v_{ef}$) függően (kisebb „hatásos vastagság”-hoz nagyobb kúszási tényező tartozik) például a következő határértékekkel adja meg:

| Kúszási tényező végértéke, közelítő tervezési érték | | |
|---|---|---|
| A beton kora a megterheléskor, $t_0$ | Nedves környezet | Száraz környezet |
| 28 nap | 1,5 - 1,9 | 2,0 - 3,0 |
| 365 nap | 1,0 - 1,1 | 1,2 - 1,8 |

A beton illetve vasbeton szerkezetek erőtani tervezésével foglalkozó MSZ 15022/3:1986 illetve MSZ 15022/1:1986 szabványok például azt mondták ki, hogy a kúszási tényező közepes végértéke:

| Beton nyomószilárdsági osztálya | Kúszási tényező közepes végértéke |
|---|---|
| C8/10 | 2,7 |
| C16/20 | 2,1 |
| C25/30 | 1,7 |
| C35/45 | 1,4 |
| C45/55 | 1,2 |

Az $1/(1+\varphi)$ tényező egynél kisebb szám, tehát a kúszás olyan folyamatnak tekinthető, mint amely a rugalmassági modulust csökkenti, például a hajlított tartók időbeni lehajlását növeli, így voltaképpen kedvezőtlen jelenség.

A kúszás elsősorban a cementkőben lejátszódó jelenség, mert az adalékanyag kúszása ($\varphi_{kőanyag} < 0,1$) a betonéhoz képest lényegében elhanyagolható.

A tervezési előírásokból és számítási képletekből is látszik, hogy a beton kúszását befolyásolja:

- a beton szerkezeti elem keresztmetszetének alakja;
- a terhelés kezdetének időpontja;
- a környezet relatív páratartalma;

- a friss beton konzisztenciája;
- a megszilárdult beton szilárdsága stb.

A kúszás az egyébként is ajánlott szilárdság növelő intézkedésekkel csökkenthető:

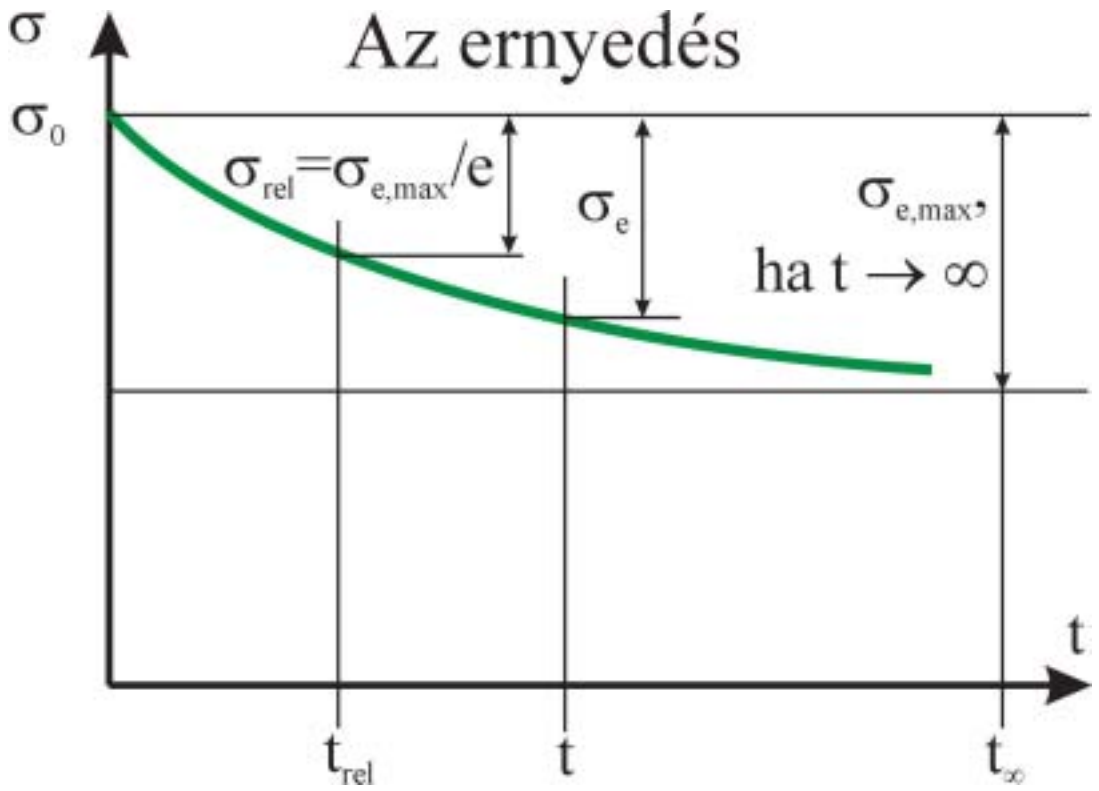
- nagyobb szilárdságú cement;
- jó minőségű adalékanyag;
- kevés keverő víz;
- jó bedolgozás;
- gondos és hosszú idejű nedves utókezelés;
- késői kizsaluzás stb.

A **kúszási határ** a kúszásnak (vagy a lassú alakváltozásnak, amely esetben „lassú alakváltozási határ”-nak nevezik) az a végtelen hosszú időhöz tartozó legnagyobb értéke, amelyet állandó terhelő mellett az anyag éppen törés nélkül viselni képes. A kúszási határhoz tartozó feszültség a **tartós szilárdság.**

A beton **tartós szilárdsága** az az állandó terhelőerő okozta legnagyobb feszültség, amelyet a beton végtelen hosszú ideig törésmentesen elbír. *Palotás professzor* megfogalmazásában: „a tartós szilárdság az a tartós terhelőfeszültség, amely mellett az anyag alakváltozási kapacitása kimerül”.

Az **ernyedés** ($\sigma_e$), más szóval **relaxáció** tulajdonképpen a kúszás inverze, „megfordítottja”. Azt a feszültség csökkenést (ernyedést) jelenti, amely az alakváltozás állandó értéken tartásához szükséges.

Azt az időt, amely alatt az ernyedés végértékének ($\sigma_{e,max}$) bizonyos hányada ($\sigma_{rel}$) bekövetkezik, **ernyedési (relaxációs) időnek** ($t_{rel}$) hívják. Ennek értéke igen nagy szám.


σ
Az ernyedés
σ0
σrel=σe,max/e
σe
σe,max,
ha t → ∞
t
trel
t
t∞

A beton kúszásának vizsgálata

Aszfalt kúszás vizsgáló berendezés

Vissza